L. E. BERTIN

Ingénieur des Constructions Navales



NOTES SUR MES TRAVAUX SCIENTIFIQUES ET MARITIMES

Le premier en date, de mes travaux est l'étude de l'aération des navires. Je présentai, en 1865, le projet de ventilation d'un transport-écurie. L'exécution à bord dn *Calvados* fut ordonnée en 1866 ; diverses circonstances l'ayant retardée, je repris la question en 1869, en présentant un nouveau projet, qui, approuvé à son tour, ne put être exécuté qu'en 1872.

Les essais de la ventilation du *Calvados* ont permis de constater qu'un appel régulier d'air vicié, s'élevant à 30 m. c. par homme et à 200 m. c. par cheval, était obtenu, dans les entreponts où il n'y avait auparavant aucun renouvellement d'air assuré. Ils ont été l'objet, à la date du 3 février 1873, d'un rapport de M. le général Morin, au nom d'une commission dont étaient membres M. Dupuy de Lôme et M. Bouley. Conformément aux conclusions de ce rapport, le prix Plumey m'a été décerné, et mon mémoire a été inséré dans le *Recueil des Savants étrangers*.

En m'appuyant sur les résultats du *Calvados*, j'ai présenté en 1874 un projet, qui fut approuvé immédiatement, pour la ventilation du transport *l'Annamite*, le premier navire d'un type nouveau créé pour le service de la Marine sur la ligne de Toulon à Saïgon. Les essais ont eu lieu en 1877 ; on a trouvé que l'appel d'air s'élève jusqu'à 30.000 m. c. par heure, donnant 40 m. c. par homme aux passagers valides et 60 m. c. aux malades. L'air est entièrement renonvelé en 9 minutes, dans les entreponts où les hommes valides étaient autrefois exposés à la mort par asphyxie dans la traversée de la mer Rouge ; il est changé en moins de 5 minutes dans l'hôpital, où la nature spéciale des maladies de Cochinchine exige un enlèvement rapide et continu de l'air vicié. La ventilation de *l'Annamite* a été, à la date du 15 avril 1878, l'objet d'un rapport de M. le général Morin, non moins favorable que le rapport du 3 février 1873 ; le mémoire que j'avais présenté à l'Académie a paru dans le *Bulletin de la Société*

d'encouragement. L'Annamite a accompli jusqu'ici quatre doubles traversées, dans des saisons différentes, sur la ligne de Cochinchine ; le nombre des passagers morts dans les traversées de retour a été successivement de 5, 5, 10 et 3, soit 6 en moyenne. A l'époque de mon projet, j'avais relevé, pour les anciens transports, le nombre des passagers morts pendant douze voyages de retour consécutifs, embrassant une période de deux ans, de la fin de 1872 à la fin de 1874 ; j'avais trouvé que ce nombre variait de 12 à 50 et qu'il était de 21 en moyenne.

Les dispositions de *l'Annamite* sont exactement reproduites sur le *Mytho*, que je viens de construire à Cherbourg. Elles sont adoptées aussi sur les quatre transports *Tonkin. Shamrock*, *Bien-Hoa*, *Vinh-long*, contruits par l'industrie.

Les communications détaillées et les rapports faits à l'Académie me permettent d'être bref dans la description de l'appareil de ventilation des transports. Je rappellerai seulement que le principe repose sur une aspiration naturelle de l'air vicié ; le tirage est produit, dans une enveloppe établie autour de la cheminée des chaudières, par l'échauffement dû à cette cheminée. Les ramifications des canaux d'appel allant dans toutes les parties du navire sont formées par les mailles de la membrure, ce qui assure la conservation des parties en bois de la charpente. L'appareil est complété par deux foyers d'appel; mais ces foyers ont rarement besoin d'être allumés, et la ventilation est obtenue, en général, sans aucune dépense, ni de travail, ni de combustible.

La publicité donnée par l'Académie des Sciences à la ventilation du *Calvados* a fait entreprendre à l'étranger de nombreuses applications du système adopté pour la première fois sur ce bâtiment. L'emploi des canaux d'appel, venant des extrémités du navire à l'enveloppe de la cheminée et constitués le plus souvent par les mailles de la membrure sur une partie de leur parcours, tend à se généraliser dans toutes les marines ; toutefois, il n'en a été fait nulle part d'application aussi importante que celle entreprise sur nos six nouveaux transports de Cochinchine.

Après mes études sur la ventilation, je citerai de suite, à cause de l'analogie entre les deux sujets, celles que j'ai faites sur le tirage forcé. Dès l'année 1870, j'ai proposé d'activer le tirage à l'aide de jets d'air comprimé disposés dans la cheminée. Les jets de vapeur étaient, à cette époque, seuls en usage, et on était disposé à les considérer *a priori*, comme le moyen le plus économique d'obtenir de tirage forcé; des expériences faites à Indret parurent confirmer cette manière de voir. En novembre 1875, je fis un projet pour l'application de l'air comprimé au tirage forcé, sur un navire en construction à Cherbourg. Les expériences préalables furent décidées, et furent exécutées à la fin de 1876. La quantité de charbon brûlée par mètre carré de grilles fut portée de 96,9 kil., à 197 kil., au prix d'une dépense de force de 8 chevaux sur les machines soufflantes, alors que les jets de vapeur ne pouvaient autrefois faire brûler que 140 kil., au prix d'une dépense de vapeur équivalant à 28 chevaux de force. L'ensemble des résultats obtenus est exposé dans une note publiée le 22 juin 1877 dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement*, avec

un rapport favorable de M. de Fréminville. L'application à bord du *Fulminant* a été décidée; le plan de détail a été envoyé l'an dernier par la Marine à l'Exposition universelle, où l'ensemble de mes travaux a été récompensé d'une médaille d'or. Si les expériences du *Fulminant*, qui se feront dans peu de mois, confirment les résultats obtenus avec la petite machine d'essai, on aura un moyen sûr et économique de doubler, et au-delà, la puissance d'un appareil évaporatoire, sans introduire aucune complication, aucune gêne quelconque, dans le service de la chambre de chauffe.

Sur la houle, le roulis, le tangage, mes premiers travaux remontent à l'année 1867.

J'avais eu, en 1866, l'occasion de proposer la mesure du ralentissement des navires aprés stoppage, comme moyen d'obtenir la valeur approchée de la résistance des carènes. J'entrepris, en 1867, d'observer la décroissance des roulis factices en eau calme, sur le navire abandonné à lui-même aprés avoir été mis en branle, et d'en déduire la résistance des carènes au roulis. La première observation de la décroissance des roulis eut lieu sur l'aviso *le Renard*.

Embarqué en 1867 et 1868, comme ingénieur de l'escadre cuirassée de la Manche, je commençai l'étude du roulis à la mer à l'aide d'un appareil enregistreur. Mon premier instrument se composait surtout d'un pendule disposé de manière à pouvoir être compensé; j'avais espéré, par la compensation, obtenir une période d'oscillation assez longue pour écarter l'effet des causes de perturbation périodiques qui dévient le pendule par rapport à la verticale; je reconnus bien vite que les plus longues périodes obtenues dépassaient peu les périodes des vagues et des roulis, et plaçaient par suite l'instrument dans les plus mauvaises conditions possibles; je supprimai donc la compensation, afin d'avoir, au contraire, un pendule à courte période. Un second pendule, beaucoup plus court que le premier était suspendu à sa tige; ce dernier pendule n'était plus qu'un moyen de vérification; la coïncidence entre les directions des pendules tous deux courts, mais de longueurs différentes, devait indiquer l'absence de mouvements oscillatoires propres.

En cherchant à discuter en 1869 les résultats de mes expériences de 1868, je fus conduit à étudier le mouvement de translation d'un flotteur sur la houle, puis le mouvement des molécules liquides elles-mêmes; je me trouvai ainsi conduit aux équations de la houle. Cette même année, le savant Directeur des Constructions navales dont j'avais reçu les leçons à l'école du Génie maritime, M. Reech, communiquait à l'Académie des Sciences, par l'intermédiaire de M. Delaunay, les équations que je venais d'obtenir de mon côté, et que, de même que lui, je croyais à cette époque entièrement nouvelles. Je m'empressai d'envoyer à M. Delaunay mon manuscrit, puis ma première note imprimée, *l'Etude sur la houle et le roulis*, qu'il voulut bien présenter à l'Académie, en décembre 1869, en indiquant que mes recherches avaient été entièrement indépendantes de celles de M. Reech. M. Boussinesq avait présenté, comme on sait, dans le cours de l'année 1869 son grand mémoire intitulé *Les Ondes liquides périodiques*, inséré depuis dans les

Savants Etrangers ; l'indépendance de nos travaux est suffisamment indiquée par les dates de publication.

L'*Etude de la houle et le roulis* a été le point de départ d'une série de mémoires, écrits de 1869 à 1878, dont je vais résumer brièvement la substance, avant d'en donner la liste.

J'avais obtenu d'abord les équations de la houle, en mettant en équations les conditions auxquelles le mouvement de l'eau est soumis, et en cherchant ensuite, par voie de vérification, quels sont, parmi les mouvements orbitaires, ceux qui peuvent satisfaire à toutes les conditions; comme preuve finale de l'exactitude du résultat, je rencontrais cette particularité que les équations par lesquelles j'avais essayé de représenter le mouvement orbitaire offraient moins de paramètres indéterminés qu'il n'y avait de conditions à remplir, et que, cependant, elles satisfaisaient à toutes les conditions. Cette méthode, imparfaite sans doute, a eu l'avantage de permettre d'obtenir, outre les lois exactes de la houle en eau infiniment profonde, celles de divers autres mouvements oscillatoires qui ne peuvent être établies jusqu'ici que d'une manière approximative et que l'intégration directe n'aurait pu donner. Pour la houle elle-même, j'ai obtenu en 1870 les équations complètes par une intégration directe, mais en partant d'un point de départ qui a quelque chose d'hypothétique ; la vérification ultérieure par la première méthode conserve son utilité.

J'ai donné en 1874 les équations des vagues de hauteur et de vitesse variables ; ces équations sont seulement approximatives, mais elles donnent l'explication des mouvements que l'on observe peut-être le plus fréquemment à la surface de la mer.

Comme la théorie des mouvements de l'eau reste nécessairement muette sur les dimensions absolues des vagues de la mer, auxquelles elle assigne seulement une limite d'acuité, j'ai entrepris, en 1873, l'étude de ces dimensions en résumant les observations connues, observations dont le répertoire venait précisément d'être enrichi par le savant et regretté lieutenant de vaisseau Armand Paris. Mon travail comprend trois parties distinctes, relatives : 1° à la relation entre les hauteurs et les longueurs des vagues, c'est-à-dire à la forme des profils de la mer ; 2° aux dimensions absolues, variables d'une mer à l'autre, dont la connaissance constitue la géographie de la mer au point de vue de ses mouvements ; 3° aux procédés d'observation et à la discussion des résultats fournis par les observateurs. L'étude des dimensions moyennes, et surtout de la valeur habituelle de la période de la houle pour chaque mer, offre un grand intérêt pratique ; elle indique la période de roulis qu'il importe le plus d'éviter pour chaque navire selon sa destination.

Pour l'étude du roulis, j'ai introduit la mesure de la résistance des carènes, par l'expérience, devenue aujourd'hui réglementaire dans la Marine, de la décroissance des roulis factices en eau calme. On se rendra compte de l'importance de cette innovation, en considérant que le roulis dépend, à un égal degré, de trois moments, savoir, le moment d'inertie, le moment de stabilité, le moment de résistance, et que, de ces trois moments, deux seulement étaient connus ; on n'avait même aucune indi-

cation approchée de la valeur du troisième La connaissance du moment de résistance permet aujourd'hui d'évaluer à l'avance l'amplitude du roulis maximum de chaque navire; on sait comment faire varier cette amplitude maximum, en modifiant les proportions ou les formes du navire, et surtout en adaptant à sa carène des quilles latérales. L'emploi des quilles latérales, autrefois rare et souvent inefficace, se répand aujourd'hui, se fait d'une manière rationnelle, et donne des résultats conformes aux prévisions.

Un autre progrés très-important dans l'étude du roulis a été fait, en soumettant au calcul les conditions différentes au point de vue de la position d'équilibre hydrostatique, dans lesquelles se trouvent sur la houle, d'une part le navire de grandes dimensions, d'autre part le flotteur infiniment petit, qui, autrefois, était seul considéré. L'effet particulier exercé sur le grand navire, en raison des variations de la poussée aux différents points de l'eau qu'il déplace, peut se traduire par l'action d'un couple de redressement tendant à relever la position d'équilibre par rapport à la normale à la surface de l'eau ; plus le volume de la carène est grand et le bras de levier du couple de stabilité faible, plus le redressement produit est considérable. Les valeurs numériques obtenues montrent que, dans certains cas, la position d'équilibre peut être ramenée à la verticale ; certains navires deviennent par là insensibles à l'action de houles qui se rencontrent assez fréquemment. Le calcul fournit ainsi l'explication de faits bien constatés de tranquillité extraordinaire sur la houle, et il indique les moyens de multiplier ces faits.

Je passe sous silence de nombreuses conséquences déduites, soit de l'expérience de décroissance des roulis factices, soit du calcul de la poussée aux différents points de la houle, pour arriver à l'étude nouvelle des mouvements du navire entreprise depuis l'année 1874.

L'instrument employé dans mes expériences à la mer est l'oscillographe double, qui a été construit, aux frais du Ministère de la Marine, suivant le principe exposé à la fin de ma première étude de 1869, et dont l'exécution fait le plus grand honneur aux ateliers de M. Breguet.

La partie principale de l'oscillographe double est un pendule à très-longue période, qui ne peut s'écarter de la verticale et qui enregistre ainsi exactement le roulis absolu du navire. Les indications de ce pendule sont certaines; elles m'ont permis de bien établir la portée et les limites de la loi expérimentale de l'isochronisme des roulis à la mer; elles m'ont indiqué la durée très-faible à laquelle peut descendre l'oscillation totale contre le vent, sur les navires à grand fardage, et les valeurs des forces d'inertie qui en sont la conséquence; ces forces d'inertie, qui représentent les efforts d'arrachement à bord, sont, dans des roulis que j'ai relevés, trois fois plus fortes qu'on ne le calculerait d'après la période observée en eau calme et autrefois considérée comme devant se conserver à la mer.

Au grand pendule, est adjoint un pendule très-court, qui suit la résultante des forces d'inertie dues, les unes au mouvement de translation orbitaire du navire, les

autres au mouvement de rotation autour de l'axe variable du roulis. Je me suis appliqué à bien montrer le caractère complexe des indications de ce pendule, et à marquer les cas où il devient possible de les interpréter. Quand le roulis est faible, et la mer houleuse, l'écart des deux pendules indique l'inclinaison de l'eau, et peut servir, tout au moins, à obtenir la période des vagues. Quand le roulis est trés-ample, le petit pendule prend au contraire un mouvement synchrone avec lui, surtout s'il est placé un peu loin de l'axe de rotation du navire ; l'écart des courbes tracées par les deux pendules est alors propre surtout à indiquer la position de l'axe du roulis. Le premier cas se produit d'une manière continue, à bord d'un navire bien appuyé par sa voilure ; le grand pendule trace une ligne droite, tandis que le petit pendule, devenant l'organe principal de l'appareil, dessine une courbe ondulée qui représente les inclinaisons de la houle à chaque instant.

L'oscillographe double, qui avait été construit spécialement en vue de l'étude du roulis, s'est trouvé convenir beaucoup mieux encore à celle du tangage et de ses causes. Les lois du tangage ne peuvent être, comme celle du roulis, étudiées par le calcul avec le secours d'expériences en eau calme ; il était d'autant plus intéressant de les aborder, par un procédé expérimental, qu'elles offrent un intérêt toujours croissant à mesure qu'on demande aux navires de plus grandes vitesses ; le tangage est, en effet, la cause des principales pertes de vitesse auxquelles sont exposés les navires. Les tracés de l'oscillographe double m'ont montré, d'abord, que souvent le tangage s'exécute en suivant, sans écart sensible, les oscillations de la position d'équilibre hydrostatique ; ce mouvement, qui réalise les meilleures conditions à désirer, se rencontre toutes les fois que, pour les dimensions des vagues et la vitesse du navire considérées, les rapports entre le moment d'inertie longitudinale et le moment de stabilité longitudinale d'une part, le moment de résistance d'autre part, ne sont pas trop forts. Il faut donc s'attacher à réduire ces deux rapports, sans avoir à s'inquiéter d'ailleurs de la période du tangage propre, comme on se préoccuperait de celle du roulis propre ; le tangage propre ne se manifeste que rarement, et reste toujours d'une amplitude insignifiante. J'ai pu observer ensuite, dans une série d'expériences, comment le tangage relatif par rapport à la position d'équilibre, synchrone avec les vagues, prend naissance et va en augmentant, à mesure que l'on attaque la mer debout avec une vitesse plus grande, ou que la mer devient plus grosse.

On se rendra compte de l'importance de mes recherches sur les qualités nautiques, en rapprochant des régles nombreuses et précises que j'ai pu formuler sur la plupart des questions, les indications théoriques trés-rares et sous plusieurs rapports inexactes que l'on possédait avant 1869. Je rappellerai que la croyance la plus répandue était qu'il fallait diminuer la stabilité pour avoir des roulis plus doux, et l'augmenter pour avoir des roulis moins amples. L'erreur sur ce dernier point avait été corrigée déjà, mais pour les cas seulement où une diminution de la période peut rendre le synchronisme fréquent entre la houle et le roulis. Il était recommandé toujours de tenir grand compte du rapport entre la stabilité de forme et la stabilité

totale, rapport qui a disparu des formules exactes. Le constructeur, en somme, ne connaissait guère autrefois qu'une règle : se rapprocher le plus possible des types de navires éprouvés ; règle prudente, mais dont l'application est devenue rarement possible, depuis les fréquentes transformations du matériel naval.

Voici maintenant la liste et la date de mes publications sur les vagues et sur les qualités nautiques des navires.

Les résultats obtenus relativement aux lois du roulis et du tangage sont consignés dans deux mémoires insérés aux *Savants étrangers*, et intitulés :

Note sur la résistance des carènes, etc. T. XXII, n° 8.

Observations de roulis et de tangage, etc. T. XXVI, n° 5.

L'insertion a eu lieu sur les rapports de M. Dupuy de Lôme, en date du 5 Mai 1873 et du 6 Mai 1878. J'avais, dans l'intervalle, présenté un autre mémoire dont l'impression avait été également votée (rapport du 2 avril 1877).

J'ai présenté de plus à l'Académie des Sciences : 1° Un *Mémoire sur les vagues de hauteur et de vitesse variables*, qui a paru aux *Comptes-rendus* (séance du 9 Mars 1874).

2° Une *Méthode nouvelle pour établir la formule de la hauteur métacentrique* ; la note a paru à la date du 20 Février 1876 dans les *Atti* de l'Académie pontificale des *Nuovi Lincei*, dont je suis membre étranger.

3° Des *Notes sur la théorie et l'observation de la houle et du roulis* soumises en Mars 1870 à une commission composée de M. le Vice-amiral Paris, de M. de Tessan et de M. de Saint-Venant. Ces notes ont été publiées en 1872 dans le *Recueil des Sociétés savantes*, et ont été suivies d'un complément ; c'est à elles que le refèrent les citations de mes travaux faites par M. de Saint-Venant, dans son étude *du Roulis sur mer houleuse*.

L'*Institution of naval architects* a inséré, dans le T. XIV de ses *Transactions* (année 1873), mon *Memoir on the experimental study of waves*.

Dans les *Mémoires de la Société des Sciences naturelles et mathématiques de Cherbourg*, j'ai publié, après la première *Étude sur la houle et le roulis* de 1869, un *Complément* à cette étude (1871) et les *Données théoriques et expérimentales sur les vagues et le roulis* (1873-1874).

L'ensemble de mes travaux antérieurs à 1874 a paru, traduit en anglais, dans la revue trimestrielle *Naval Science*, sous le titre *Notes on waves and rolling*.

La Revue Maritime et le Mémorial du Génie Maritime ont reproduit les principaux des ouvrages précédents.

Enfin j'ai fait en 1878, à la Société française pour l'avancement des sciences, une communication *Sur le relevé automatique des vagues de la mer*, et j'ai résumé verbalement l'étude du roulis et du tangage dans une des réunions du Congrès du Génie civil au Trocadero.

Me bornant strictement ici à rappeler ceux de mes travaux qui ont été publiés, je n'ai pas à parler de diverses études auxquelles m'a conduit mon service d'ingénieur. Je

puis toutefois en citer une qui figurait l'an dernier à l'Exposition universelle et dont on trouve le résumé, avec une planche trés-détaillée, dans le *Rapport sur la Marine à l'Expositionuniverselle de 1878*. Il s'agit des navires à flottaison cellulaire.

Suppression de la cuirasse verticale, sur les navires auxquels elle ne donne pas une protection en rapport avec ce qu'elle coûte comme poids; établissement d'un pont blindé situé au-dessous de l'eau et mis par sa position et par sa forme à l'abri du danger des coups directs; division de l'espace au-dessus de ce pont en un grand nombre de compartiments étanches formant les soutes du navire et, comme tels remplis d'objets encombrants : telles étaient, au point de vue du système défensif, les dispositions nouvelles proposées dans mon premier projet qui remonte à l'année 1872. Le bâtiment n'avait pas la prétention d'être invulnérable ; il était seulement trés-difficile à couler, et le poids économisé sur la cuirasse était appliqué à améliorer la marche à la vapeur et l'armement offensif. Ce projet, qui a rencontré dans la Marine des adversaires déclarés et des partisans convaincus, n'a pas été exécuté en France. La mise en chantier en Angleterre et en Italie, à partir de 1873, des navires à citadelle qui sont, sur les deux tiers de leur longueur, construits dans un système semblable au mien, la construction, à partir de 1876, de neuf croiseurs anglais partiellement dotés de ce même systéme de protection, enfin l'adoption récente en Italie du même principe pour la construction du grand navire l'*Italia* tout entier, témoignent assez de l'importance du sujet, pour que je saisisse toute occasion de rappeler la priorité de mon projet.

Il me reste, pour clore la liste de mes publications, à mentionner une *Notice sur la Marine à vapeur de guerre et de commerce depuis son origine jusqu'en 1874*, une *Note sur le Sauvetage du paquebot anglais le Pascal*, sauvetage que j'ai opéré en 1875, enfin des notes *Sur la fondation de l'ancien port de Cherbourg*, écrites en 1879, en collaboration avec M. le Marquis de Caligny, correspondant de l'Académie des Sciences.

Les travaux dont la présente notice donne le résumé sommaire ont touché, comme on le voit, à toutes les grandes questions maritimes : transformation des conditions hygiéniques des navires par la ventilation ; augmentation de la puissance des appareils évaporatoires et par suite de la vitesse à la vapeur par le tirage forcé ; règles nouvelles pour l'architecture navale concernant le roulis et le tangage ; enfin dispositions générales pour le décuirassement des navires de combat. L'étude de la mer a ajouté à ces recherches un élément plus purement scientifique, qui est tout particuliérement du domaine de la classe des *Sciences mathématiques* de l'Académie des Sciences.

Il m'a semblé que l'ensemble de ces travaux, dont la plupart ont été honorés de l'approbation ou des récompenses de l'Académie des Sciences, n'était pas indigne d'être rappelé aujourd'hui à son souvenir, et me permettait de solliciter ses suffrages pour la place vacante dans la quatriéme section.

21 Décembre 1879.

Imp. Ch. Syffert.